

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Kondenzační úsek spalínového traktu
průmyslové pece**

***Condensing Section of Waste Gases Tract for Industrial
Furnance***

Student:

Marek Szwejda

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Szwejd**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Kondenzační úsek spalínového traktu průmyslové pece**
Condensing Section of Waste Gases Tract for Industrial Furnace

Zásady pro vypracování:

Při zpracovávání návrhu kondenzačního úseku spalínového traktu průmyslové pece vycházejte z dostupných informací o provozu pecí pro tepelné zpracování materiálů. Konkretizaci proveďte pro pec o instalovaném výkonu 4MW, vytápěnou zemním plynem. V rámci řešení specifikujte možnosti měření, řízení a archivace průběhu veličin ovlivňujících celý teplo-směnný proces.

Proveďte :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční, orgánová a stavební struktura.
2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.
3. Výrobní výkres výstupní příruby

Rozsah práce:

min. 35 stran textu mimo přílohy včetně max. 5ti stran výtahu z Bakalářského projektu - rozsah přílohy
výkresové části min. 1A0

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. . Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. . Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka*. . Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Bakalářského projektu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 11.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě:

Szwejdá Marek

Lechova 8, Ostrava - Michálkovice, 715 00

.....
podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Szwejd M. Kondenzační úsek spalínového traktu průmyslové pece : bakalářská práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 46 s. Vedoucí práce: Noga, Z.

Bakalářská práce se zabývá modernizací spalínového traktu komorové vozové ohřívací pece tak, aby bylo v co největší míře využito odpadní teplo spalín a byla odstraněna pokud možno veškerá vodní pára obsažená ve spalínách. K tomuto budou využívány dva rekuperační výměníky. Práce řeší jen jeden a to kondenzační výměník, který je určen pro předehřev vody a odvod vznikajícího kondenzátu při vychlazování spalín. Výpočtová část se týká výpočtů spalování zemního plynu pro určení teoretického množství vodní páry obsažené ve spalínách, dimenzování přírub výměníku a dimenzování otvoru pro odvod kondenzátu. Dále je zařazen výpočet výkonu ventilátoru potřebného pro vytvoření nuceného tahu.

ANNOTATION OF THESIS

Szwejd M. Condensing Section of Waste Gases Tract for Industrial Furnance : Bachelor Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2010, 46 p. Thesis head: Noga, Z.

This bachelor thesis deals with modernizing a flue way of a cellular car-type rating furnace in the way to ensure a maximal effectivity of a waste burnt gas heat and ideally to remove all the water vapour from the burnt gas. For this reason two recuperative heat Exchangem will be used. Bachelor thesis there will be only one of recuperative exchangers – a condensation exchanger designed for water precuring and to removing a condensation incurred during a burnt gas cooling process. In the calculation section there are natural gas burning-related calculations intended for determining a theoretically maximal amount of a water vapour in the burnt gas, for dimensioning exchanger collars, for dimensioning an opening for a condensator perimeter and for determining a maximal effectivity of a fan which is needed to creating an enforced thrust.

Obsah

Seznam použitého značení	8
Seznam použitých termínů	10
1. Úvod	11
2. Popis stávajícího a navrhovaného stavu	12
2.1. Zhodnocení stávajícího stavu zařízení	12
2.2. Navrhovaného zařízení	13
3. Členění dle metodického konstruování	15
3.1. Požadavkový list	15
Výměník	15
Ventilátor	15
Komín	15
3.2. Funkční struktura	16
3.3. Morfologická matice	17
3.4. Orgánová struktura	18
4. Průběh spalinové cesty	19
4.1. Požadavky na spalinovou cestu	19
4.2. Navrhování a provádění kouřovodů	19
4.3. Výměníky	20
Rozdělení výměníků	20
Požadavky na výměník	21
Provedení použitého výměníku	21
Princip heat pipe	21
4.4. Ventilátor	23
Rozdělení ventilátorů	24
Spalinové ventilátory	24
4.5. Komín	26
Třídění komínů	26
Požadavky na provedení: Všeobecný návrh	27
Přístrojové vybavení	27
4.6. Kondenzátní jímka	28
4.7. Neutralizační zařízení	29
Příklady neutralizačních boxů	30
Příklady zapojení	32
5. Měření a archivace průběhu veličin	32
6. Výpočtová část	34
Výpočet hmotnostních procent složek ZP z objemových procent složek ZP	34
Výpočet teoretické hmotnosti vodní páry obsažené ve spalínách po spálení 1 m ³ zemního plynu pomocí čistého O ₂	35
Teoretické množství vzduchu při spalování	37
Složení vlhkých spalín	37
Hmotnost vody spálením 1 m ³ zemního plynu	38
Složení suchých spalín	39
Určení potřeby plynu	39
Určení rozměrů přírub	40
Určení otvoru pro odvod kondenzátu	40
Výpočet výkonu ventilátoru	40
Výpočet dilatace potrubí	41
7. Závěr	42
Seznam použité literatury	43
Seznam obrázků	45
Seznam příloh	45

Seznam použitého značení

D_1	průměr otvoru na vstupu do výměníku	$[m]$
D_2	průměr otvoru na výstupu z výměníku	$[m]$
M_{ZP}	molární hmotnost zemního plynu	$[g \cdot mol^{-1}]$
Q_S^V	objemový průtok vlhkých spalin	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_K	objemový průtok kondenzátu	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
P_V	výkon ventilátoru	$[W]$
V_1	objem spalin na vstupu do výměníku	$[m^3]$
V_{Ar}	objemový podíl argonu	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{CO_2}	stechiometrický objem oxidu uhličitého	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{H_2O}	stechiometrický objem vodní z 1 m ³ ZP	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
$V_{H_2O}^v$	objem vodní páry přivedené vlhkým spalovacím vzduchem	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{N_2}	množství dusíku ve vzduchu	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
$V_{N_2^v}$	objemový podíl dusíku	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{O_2T}	teoretická potřeba kyslíku	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{O_2v}	objemový podíl kyslíku	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_s^v	skutečný objem vlhkých spalin	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{sp-S}	objem průtoku suchých spalin přes ventilátor	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
V_{vT}	teoretické množství spalovacího vzduchu	$[m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$
l_o	původní délka tělesa	$[m]$
Δl	velikost délkové změny	$[m]$
m_{H_2O}	hmotnost vody	$[kg]$

n	násobek stechiometrického objemu spalovacího vzduchu	[-]
Δp	podtlak vyvolaný ventilátorem	[Pa]
$\pm \Delta p$	přetlak, podtlak spalin	[Pa]
p_b	barometrický tlak	[Pa]
p_w	tlak nasycené vodní páry ve spalinách	[Pa]
p_{wv}	tlak nasycené vodní páry ve spalovacím vzduchu při teplotě t_v	[Pa]
v	rychlost spalin na vstupu do rekuperátoru	[$m \cdot s^{-1}$]
t_v	teplota vzduchu	[°C]
t_{rsp}	teplota rosného bodu spalin	[°C]
Δt	velikost teplotní změny	[°C]
α	součinitel délkové roztažnosti	[K ⁻¹]
φ_v	relativní vlhkost vzduchu	[°C]

Seznam použitých termínů

Komínová vložka – konstrukční prvek komínu složený z konstrukčních dílů, vnitřní povrch přichází do styku se spaliny

Komínový průduch – dutina v komínové vložce (nebo dutina ohraničená stěnou komínového průduchu) určená k odvodu spalin do volného ovzduší, má kruhový, čtvercový nebo obdélníkový průřez

Komínový plášť – vnější část konstrukce komína, která přichází do styku s přilehlým nebo vnějším okolím nebo se nachází pod vnějším obkladem či opláštěním

Kondenzátní jímka – konstrukční díl kouřovodu nebo komínového průduchu sloužící pro sběr a odvod kondenzátu ze spalinové cesty (slouží také pro sběr a odvod srážkové vody)

Kondenzátní potrubí – vodotěsné potrubí, které je napojeno na kondenzátní jímku a slouží k odvodu kondenzátů nebo srážkové vody z kondenzátní jímky

Kontrolní otvor – konstrukční díl kouřovodu nebo komína, umožňující jejich kontrolu (slouží ke kontrole popř. čištění komínového průduchu, kondenzátní jímky a průduchu kouřovodu)

Kouřovod – konstrukční díl nebo díly určené pro spojení mezi spalinovým hrdlem spotřebiče paliva a sopouchem

Nádobka na kondenzát – příslušenství spalinové cesty určené ke shromažďování kondenzátů

Průduch – kompletní systém, který odděluje spaliny od dřívku, pokud je; zahrnuje vložky a jejich opěrný systém, prostor mezi vložkami a dřívkem s tepelnou izolací, pokud existuje

Půdice – nejnižší místo komínového průduchu, společného sběrače, otvorů (vybíracího, vymetacího, čistícího, kontrolního a sopouchu) a komínového pláště

Sopouch – konstrukční díl komína, do kterého je připojen kouřovod

Spaliny – plynné zplodiny ze spalování nebo jiných procesů, včetně vzduchu, které mohou obsahovat pevné látky nebo kapaliny

1. Úvod

Zvyšující se ceny energií nutí podniky vymýšlet nové způsoby jak ušetřit na nákladech, protože ty mohou zapříčinit zvýšení ceny výrobku a způsobit snížení konkurence schopnosti podniku.

Při teplotních procesech probíhajících například v tepelných elektrárnách, hutnictví a dalších provozech, dochází k tvorbě vedlejších produktů, nepožadovaných přímo výrobními postupy, z nichž některé je možno účelně využít, naopak jiné likvidovat jako odpady, škodící životnímu prostředí.

^[2] V současné době je z hlediska využití energie celosvětovým požadavkem maximálně využít teploty spalin v pracovním prostoru a také dále při odchodu spalin ze spalovacího prostoru pece. Nejefektivnější se jeví způsob vracet teplo zpět formou přehřátého spalovacího vzduchu, případně paliva do pracovního prostoru. Další možností může také být využít odpadní tepla jako prostředku pro ohřev teplé užitkové vody.

Práce se zabývá úpravou současného spalinového traktu, aby bylo možno ještě více využít odpadní teplo, zkondenzováním co největšího objemu vody ze spalin a návrhem vhodného ventilátoru pro odvod studených spalin.

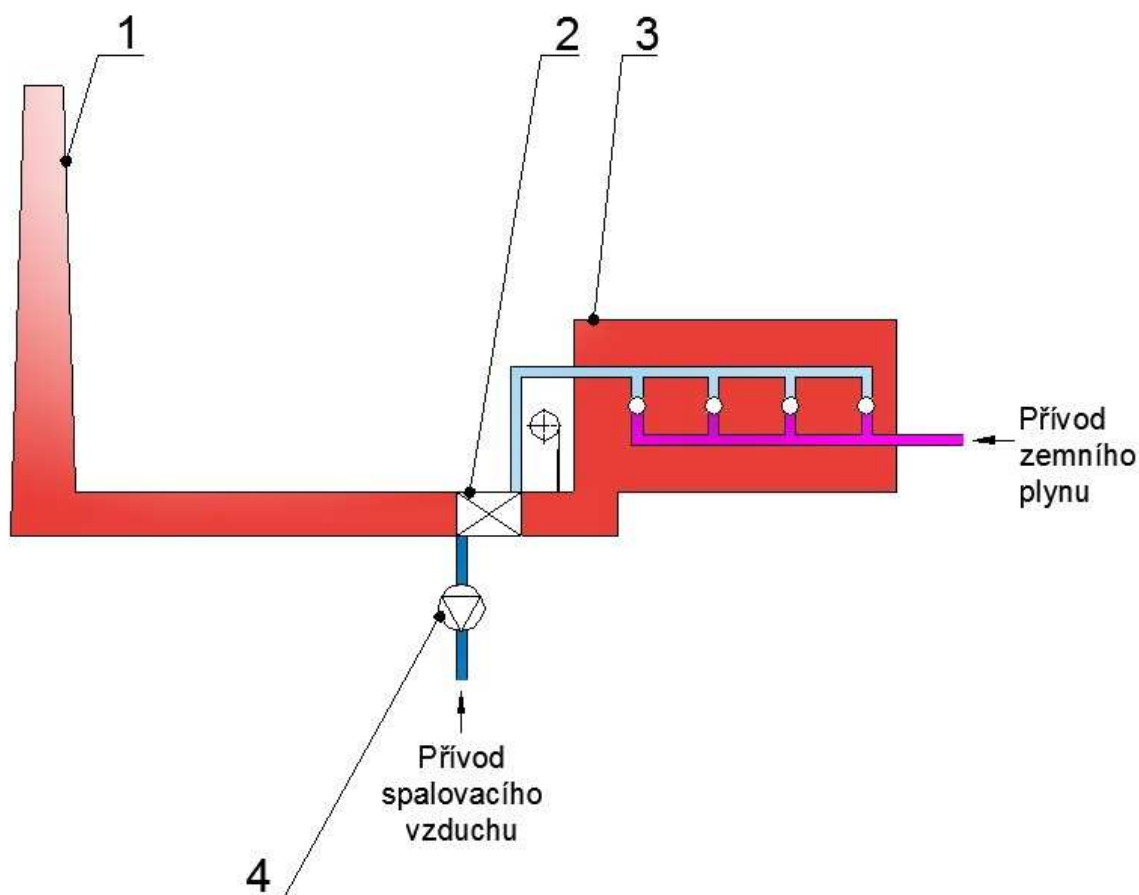
2. Popis stávajícího a navrhovaného stavu

Práce řeší zadaný problém u ohřívací pece otápěné zemním plynem o maximálním výkonu 4 MW.

2.1. Zhodnocení stávajícího stavu zařízení

Komorová vozová pec je instalována na hale lisovny. Slouží pro ohřev materiálu na lis. Topným médiem je zemní plyn, výhřevnost $35870 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$. Instalovaný tepelný příkon pece je 4000 kW. Teplota v pracovním prostoru pece je maximálně $1250 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Součástí odvodu je předehřívák vzduchu, před nímž se teplota pohybuje přibližně kolem $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$, teplota předehřívacího vzduchu je $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Komín je společný, jedná se o zděný komín, jeho výška činí 50 m a světlost 2000 mm. V patě komína dosahuje teplota spalin $180 \div 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ proto, aby bylo dosaženo přirozeného tahu komína a navíc, aby voda obsažená ve spalinách byla při odchodu z komína ještě nad teplotou rosného bodu spalin a nedocházelo tak k její kondenzaci uvnitř komína. Kondenzát uvnitř komína může způsobit poškození průduchu a možné namrzání při teplotách pod bodem mrazu.

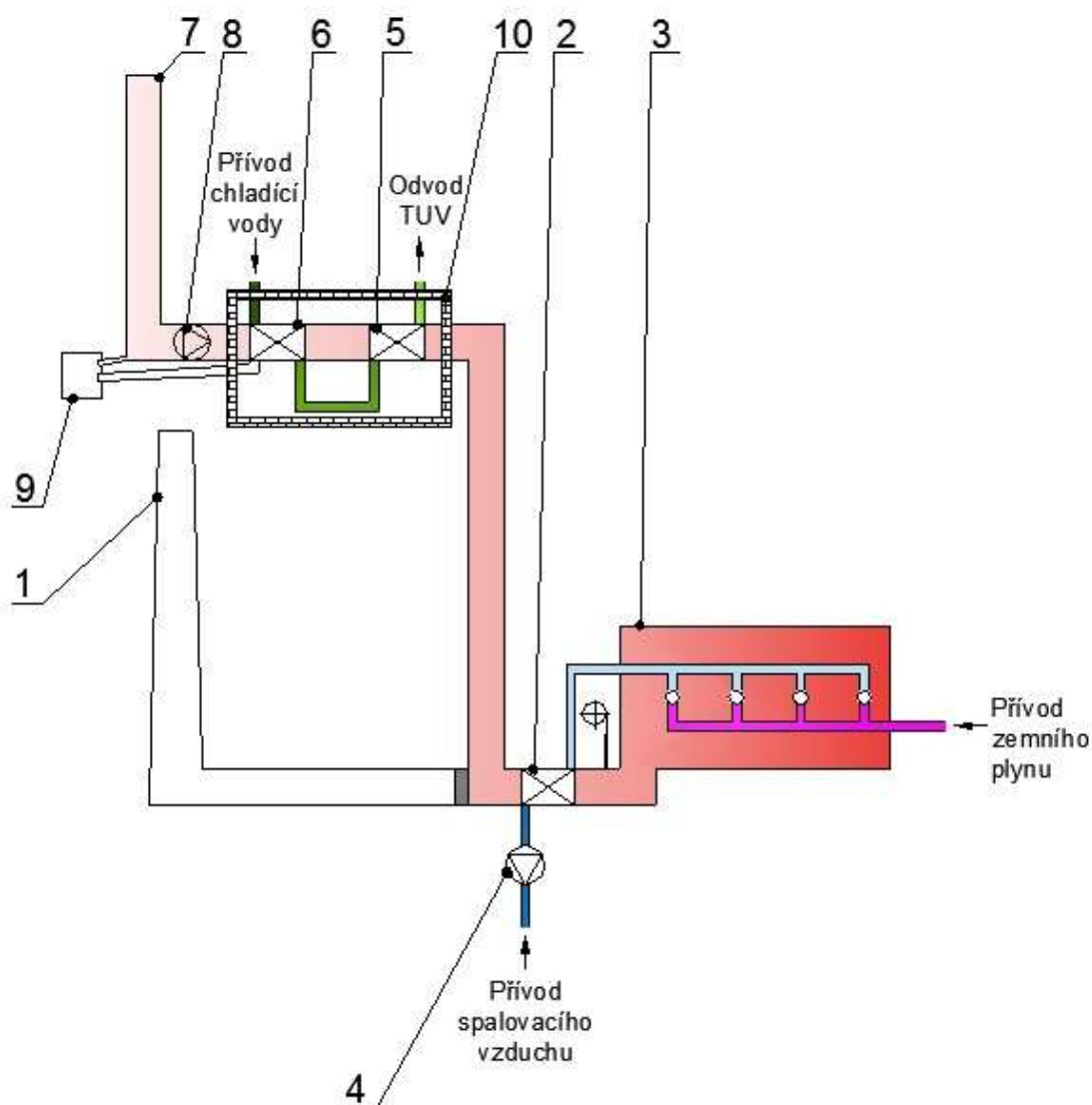
V současné době dochází k využití odpadního tepla pouze prostřednictvím předehříváku spalovacího vzduchu. Obr. 1 představuje schéma stávajícího zařízení.



Obr. 1 Schéma stávajícího stavu zařízení

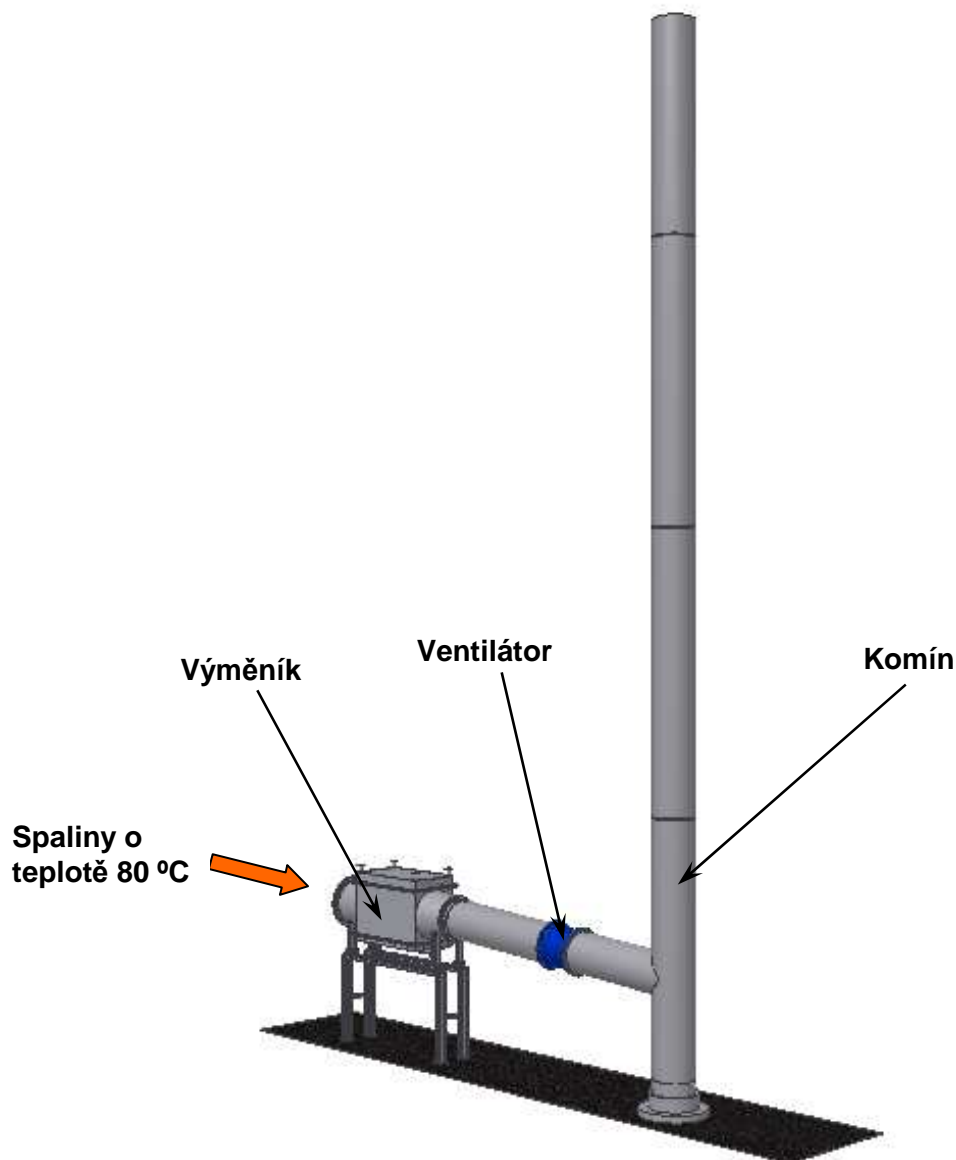
1 – zděný komín, 2 – předehřívák spalovacího vzduchu, 3 – komorová vozová ohřívací pec, 4 – axiální ventilátor

2.2. Navrhovaného zařízení



Obr. 2 Schéma navrhovaného zařízení

1 – zděný komín, 2 – předehřívák spalovacího vzduchu, 3 – komorová vozová ohřívací pec, 4 – axiální ventilátor, 5 – rekuperátor I – spalínový kotel, 6 – rekuperátor II – kondenzační výměník, 7 – ocelový komín, 8 – rovnotlaký axiální ventilátor, 9 – neutralizační zařízení, 10 – místo předpokládaného prostoru pro umístění výměníků



Obr. 3 3D model navrhovaného zařízení

Navrhované zařízení vychází ze stávajícího stavu, kdy původní spalínová cesta zůstává zachována, aby v případě poruchy (např. poškození ventilátoru) bylo možno spaliny odvádět bez nutnosti přerušovat výrobní proces. Naším cílem je, aby zkondenzovala všechna voda obsažená ve spalínách. Toho dosáhneme, když spaliny ochladíme pod teplotu jejich rosného bodu. K tomu využijeme rekuperátor II – kondenzační výměník, z něhož budeme kondenzát jímát. Rekuperátor I – spalínový kotel je určen pro ohřev TUV. Jako chladicí médium bude použita voda. Teplota spalin na výstupu z kondenzačního výměníku bude již příliš nízká pro vytvoření přirozeného tahu, proto bude nutno vytvořit tah nucený. Ten bude vyvozen ventilátorem. U komínu bude také zajištěn odvod případného kondenzátu. Kondenzát z výměníku a komínu bude jímán do neutralizační nádoby a odsud vypouštěn do kanalizace.



Obr. 4 Předpokládaný prostor pro umístění výměníků

3. Členění dle metodického konstruování ^[3]

3.1. Požadavkový list

Výměník

- odvod kondenzátu
- dostatečné chlazení spalin
- možnost čištění
- kontrola teploty
- neutralizace kondenzátu
- ochrana proti korozi
- hermetizace

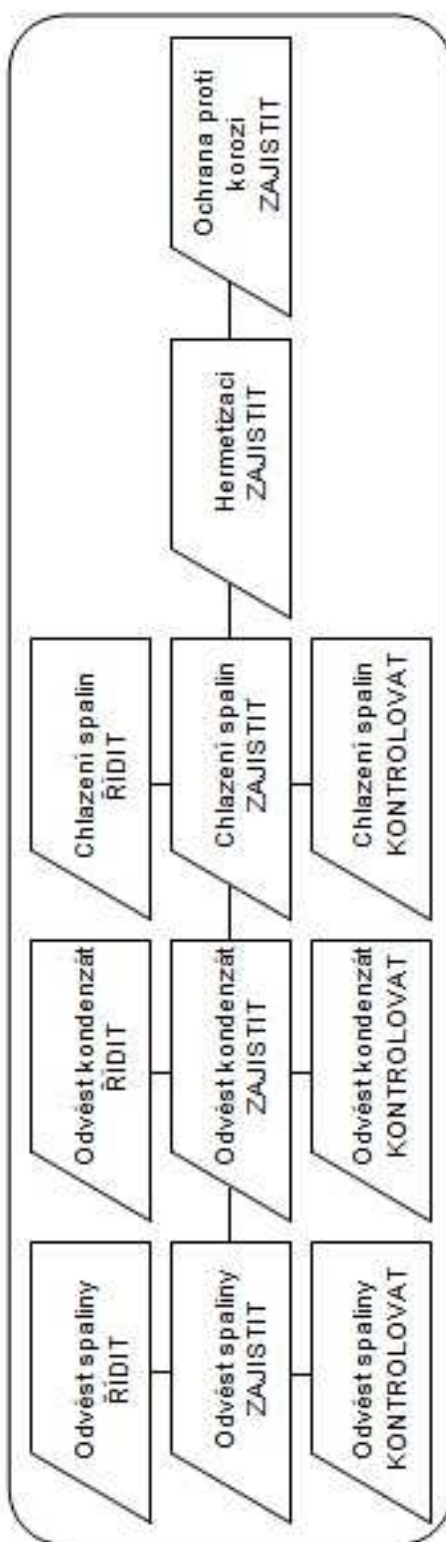
Ventilátor

- možnost řízení
- hermetizace
- ochrana proti korozi

Komín

- možnost odvodu kondenzátu
- odvod spalin
- hermetizace
- ochrana proti korozi

3.2. Funkční struktura



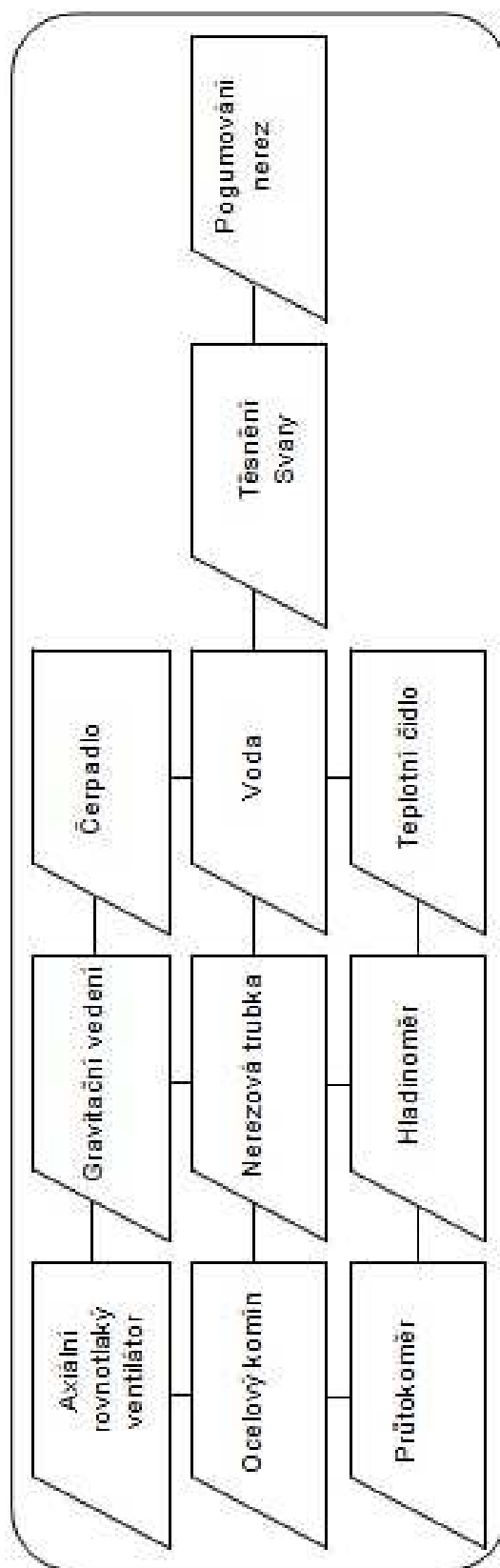
Obr. 5 Schéma funkční struktury technického systému ^[3]

3.3. Morfologická matice

Dílčí funkce	Orgány – nositelé funkcí		
Odvést spaliny ZAJISTIT	Zděný komín	Plastový komín	Ocelový komín
Odvést spaliny ŘÍDIT	Radiální ventilátor	Axiální rovnotlaký ventilátor	
Odvést spaliny KONTROLOVAT	Průtokoměr		
Odvést kondenzát ZAJISTIT	Plastová trubka	Nerezová trubka	Gumová hadice
Odvést kondenzát ŘÍDIT	Gravitační vedení	Čerpadlo	
Odvést kondenzát KONTROLOVAT	Průtokoměr	Hladinoměr	
Chlazení spalin ZAJISTIT	Voda	Plyn	Vzduch
Chlazení spalin ŘÍDIT	Čerpadlo	Škrticí klapka	
Chlazení spalin KONTROLOVAT	Teploměr	Teplotní čidla	
Hermetizaci ZAJISTIT	Těsnění	Svary	Šrouby
Ochrana proti korozi ZAJISTIT	Pogumování	Nátěry	Nerez

Tab. 1 Morfologická matice ^[3]

3.4. Orgánová struktura



Obr. 6 Schéma orgánové struktury technického systému ^[3]

4. Průběh spalinové cesty ^[9]

4.1. Požadavky na spalinovou cestu

Spalinová cesta musí být navržena tak, aby za všech provozních podmínek připojených spotřebičů paliv a místně obvyklých povětrnostních podmínek byl zajištěn bezpečný odvod spalin komínem nebo svislým kouřovodem a jejich rozptyl do volného ovzduší tak, aby nenastalo jejich hromadění a nebyly překročeny přípustné koncentrace škodlivin v ovzduší ani v nejbližším okolí. Musí být také zajištěna požární bezpečnost všech prostor, kterými spalínová cesta prochází. Spalínová cesta nesmí snižovat účinnost spotřebičů a musí být navržena a provedena tak, aby byla po celé délce kontrolovatelná a čistitelná. K příslušným otvorům pro kontrolu a čištění na spalínové cestě a k ústí komína musí být bezpečný a trvalý přístup.

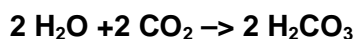
4.2. Navrhování a provádění kouřovodů

Kouřovod má být navržen tak, aby proudění spalin v průduchu kouřovodu bylo plynulé. Kouřovod nesmí mít náhlé změny velikosti a tvaru průřezu ani kouty, ve kterých by se mohly hromadit spaliny. Změny směru kouřovodu mají být provedeny v tupém, nejvýše v pravém úhlu, na vnější straně zaobleny poloměrem rovnajícím se alespoň vnitřnímu průměru nebo šířce kouřovodu. Kouřovod v sopouchu nesmí zasahovat do komínového průduchu a zmenšovat jeho průřez. Kouřovody delší než 2 m se tepelně izolují, ale doporučuje se izolovat i kratší kouřovody, pokud by jeho teplota nepříznivě ovlivňovala okolí.

Kouřovody musí zajišťovat požadovanou těsnost, stabilitu a pevnost. Musí být kontrolovatelné a čistitelné.

Tloušťky a druhy kovových materiálů používaných na výrobu kouřovodů musí být voleny s ohledem na druh paliva připojeného spotřebiče. Používají se i jiné než kovové materiály (keramika nebo plast). Kouřovod zděný nebo vysekaný do zdiva musí být uvnitř hladký, dobře vyspárovaný nebo omítnutý, popř. opatřený ochranným pouzdrům odolným proti účinkům spalin. Kouřovod musí být chráněn proti pronikání vody nebo vlhkosti.

^[3]Spaliny, které vznikají hořením zemního plynu obsahují i oxid uhličitý. Rozpouštěním oxidu uhličitého v kondenzujících vodních parách vzniká slabá kyselina uhličitá.



Proto má kondenzát mírně kyselý charakter s pH 3,5 až 5,4. Je nutné, aby materiály pro potrubí, kterým kondenzát protéká, byly stabilně odolné proti kyselosti kapalin.

Nejčastěji se používají tyto materiály: kamenina, tvrzené PVC, PE-HD potrubí, PE potrubí, litiny s vnitřním emailem nebo vrstvením, nerez, borosilikátové sklo. Dle určeného druhu použití musí být ochranné povlaky chemicky a tepelně odolné, nepropustné pro kapaliny a dostatečně odolné proti difuzi a stárnutí.

4.3. Výměníky^[1]

Výměníky jsou zařízení, které slouží k průběžnému nebo přerušovanému předávání tepelné energie pomocí proudících teplotnosných médií.

Rozdělení výměníků

- *podle pracovního pochodu existují tři základní typy:*
 - a) *rekuperační* – obě tekutá média (ohřívané i ohřívající) jsou oddělena nepropustnou stěnou o určité tloušťce o výhřevných plochách S_1 a S_2 na stranách obou médií;
 - b) *regenerační* – ohřívané médium vtéká opakovaně s určitým časovým zpožděním za médiem ohřívajícím do přesně vymezeného prostoru, vyplněného pevným teplo zprostředkujícím elementem a přijímá z něho teplo, dříve přivedené ohřívajícím médiem;
 - c) *směšovací* – ohřívané a ochlazované médium se v tomto výměníku směšují tak, že vytvoří směs – teplosměnná plocha je dána např. povrchem kapek vstříkované vody.
- *podle účelu a použití rozeznáváme:*
 - *ohříváky* – ohřívané médium zvyšuje svou teplotu, ale nedochází ke změně fáze;
 - *chladiče* – ochlazované médium zde snižuje svou teplotu beze změny fáze;
 - *výparníky a odparky* – ohřívané médium je kapalina, která se mění v páru;
 - *kondenzátory* – teplejší médium v parní fázi se sráží v kapalnou fázi – kondenzát;
 - *přehříváky a mezipřehříváky* – slouží ke zvyšování teploty mokré, syté nebo přehřáté páry;
 - *sušárny* – přísunem tepla se dosahuje snížení vlhkosti látky v pevné fázi;
 - *termické odplynovaky vody* – parním ohřevem vody k bodu varu dochází k vylučování pohlčených plynů;
 - *topná tělesa ústředního vytápění* – otopné médium ohřívá okolní vzduch.
- *podle vzájemného směru a smyslu proudění obou teplotnosných médií mohou být:*
 - *souproudé* – osy proudů ohřívaného a ohřívajícího média jsou rovnoběžné s vektory rychlosti mají stejný smysl;
 - *protiproudé* – směry proudů jsou rovnoběžné a mají opačný smysl;
 - *křížové* – osy proudů jsou mimoběžné a v kolmém průmětu svírají úhel 90° ;

- *se šikmým vzájemným proudem* – osy proudů spolu svírají v kolmém průmětu úhel větší nebo menší než 90 °;
 - *vícenásobně souproudé, protiproudé a křížové proudění;*
 - *s kombinovaným prouděním.*
- *podle konstrukčního řešení výhřevné plochy:*
 - bubnové (kotlové);
 - deskové;
 - trubkové;
 - žebrové;
 - apod.
 - *podle kombinace teplotnosných médií:*
 - voda – voda;
 - pára – voda;
 - pára – vzduch;
 - pára – olej;
 - spaliny – voda;
 - spaliny – pára;
 - spaliny – vzduch;
 - atd.

Požadavky na výměník

Jsou to:

- 1) co nejmenší rozměry, hmotnost a cena výměníku;
- 2) co nejmenší tlakové ztráty;
- 3) co nejvyšší spolehlivost v provozu.

Provedení použitého výměníku

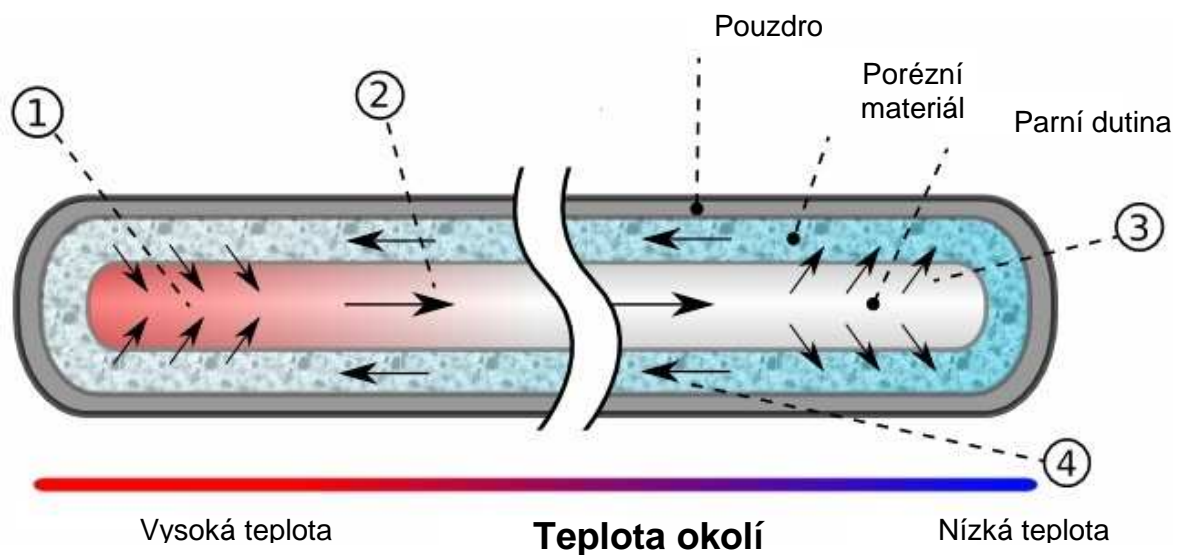
Jedná se o rekuperační výměník jehož hrubé rozměry jsou viditelné na obr. X. Výměník je proveden z nerezové oceli 17 021.2. K vychlazení spalin využijeme tepelné trubice tzv. heat pipe.

Princip heat pipe ^[12]

Jejich princip spočívá v přenosu tepla z jednoho místa na druhé za pomoci par pracovní látky.

Jde o hermeticky uzavřený kovový válec (nerezová ocel, nikl, měď), který je naplněn pracovní látkou (voda, čpavek, lithium, dusík, apod.). Na jednom konci je zasazený do zdroje tepla a na druhém do chladiče. Po dosažení teploty, na kterou je nastaven, se začne pracovní látka odpařovat a proudí směrem k ochlazovanému místu, kde kondenzuje. Pracovní teplota se nastavuje velikostí tlaku uvnitř heat pipe. Proud par

se dává do pohybu na základě rozdílných tlaků v místě výparníku a v místě kondenzátoru. Návrat kondenzátu zpět ke zdroji tepla je zajištěn kapilárními silami v porézním materiálu.

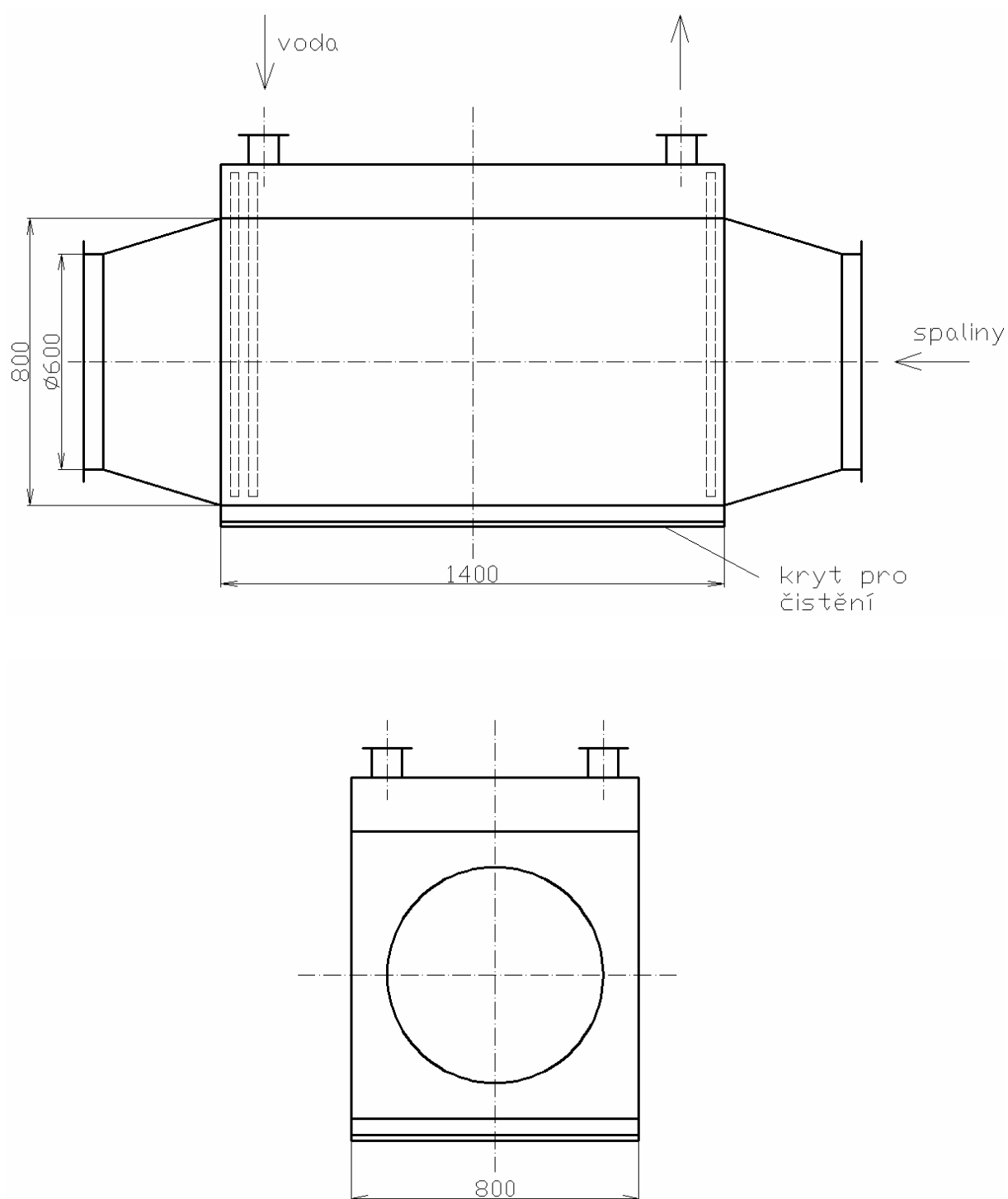


Obr. 7 Heat pipe – tepelný cyklus ^[13]

- 1) Z pracovní kapaliny se zahřátím stává pára
- 2) Pára putuje parní dutinou ke konci s nižší teplotou
- 3) Pára kondenzuje zpátky na kapalinu a je absorbována porézním materiálem, přitom se uvolňuje tepelná energie
- 4) Pracovní kapalina stéká ke konci z vyšší teplotou



Obr. 8 Řez skrze heat pipe ^[12]



Obr. 9 Hrubé rozměry výměníku ^[25]

4.4. Ventilátor ^[4]

Ventilátory jsou rotační lopátkové stroje sloužící k dopravě a stlačování plynů. U ventilátorů je poměr stlačení nízký, cca 1,0 až 1,1, takže je správné hovořit spíše o dopravě vzdušnin než o jejich stlačování.

Hlavními parametry ventilátoru jsou:

- dopravní tlak;
- dopravované objemové množství vzduchu;
- příkon.

Zdrojem energie je vždy motor, který zajišťuje otáčení oběžného kola. Najdeme je v zařízeních pracujících s čistým vzduchem, ale i v hutích, dolech, elektrárnách, spalovnách, apod., kde dopravují vzduch silně znečištěný tuhými i plynnými agresivními příměsemi.

Nedostatkem ventilátorů je jejich vlastní aerodynamický a mechanický hluk, což může mít za důsledek jeho nepoužitelnost v akusticky náročných provozech. Doprovodným nepříznivým jevem jsou také vibrace, ty mohou zhoršovat pohodu prostředí ve svém okolí, nebo ovlivňovat funkčnost a přesnost jiných zařízení.

Rozdělení ventilátorů

- *podle směru průtoku vzdušniny oběžným kolem se ventilátory dělí na:*
 - radiální
 - axiální
 - diagonální
 - diametrální
- *podle dopravního tlaku se dělí na:*
 - nízkotlaké (do 1000 Pa)
 - středotlaké (1000 až 3000 Pa)
 - vysokotlaké (nad 3000 Pa)

Spalinové ventilátory ^[9]

Ve spalinové cestě nebo na ní mohou být namontovány spalinové ventilátory podporující odtah spalin. Je nutné dodržovat následující podmínku:

- *u plynových a olejových spotřebičů paliv musí být zajištěno propojení ventilátoru a spotřebiče tak, aby došlo k zablokování spotřebiče pro případ selhání ventilátoru. Vzájemné propojení u plynových spotřebičů a ventilátorů má být autorizováno výrobcem;*

Ventilátor na spalinové cestě musí zajistit bezpečný odvod spalin do volného ovzduší za všech provozních podmínek připojených spotřebičů paliv a místně obvyklých povětrnostních podmínek.

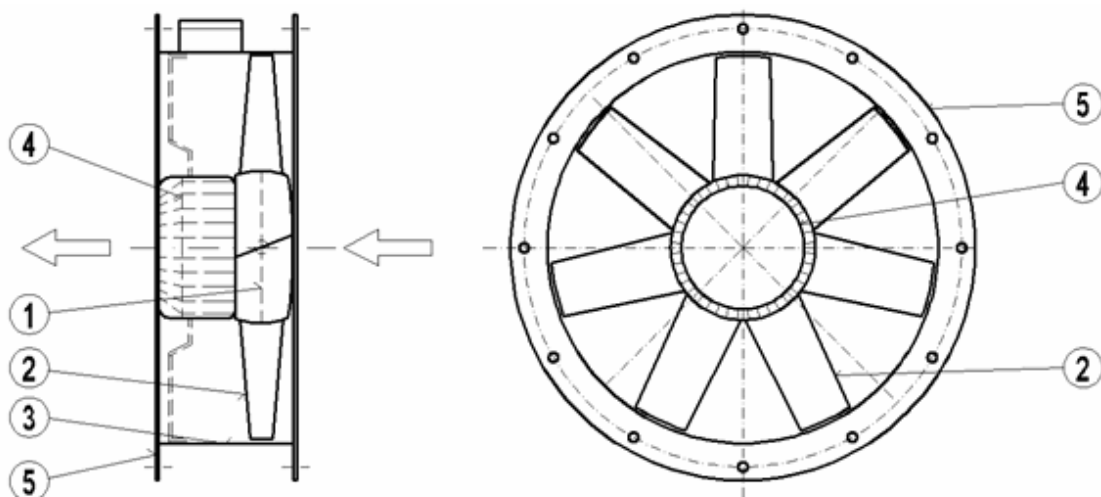
Osazení ventilátoru a připojovacích prvků musí umožňovat jednoduchou údržbu. Pokud je to technicky nutné, musí mít ventilátor vlastní konstrukční podpěru. Příkladné konstrukční zatížení spalinové cesty musí být zohledněno v jejím konstrukčním návrhu.

Ventilátor musí být také chráněn proti účinkům koroze a chemického napadení. Například pogumováním vnitřních ploch, poplastováním nebo z nerezového materiálu.

Pro potřebu zadání bude použit rovnotlaký axiální ventilátor s frekvenčním řízením otáček, závislých na výkonu pece. U axiálních ventilátorů proudí vzduch ve směru osy otáčení oběžného kola. Plochy které budou ve styku se spalinami budou pogumovány.

^[16] Parametry ventilátoru:

- objemový průtok 2,5 až 600 m³.s⁻¹
- celkový tlak 250 až 9 100 Pa
- teplota dopravované vzdušiny až do + 250 °C



Obr. 10 Schéma axiálního ventilátoru ^[17]

1 – rotor, 2 – oběžné lopatky, 3 – plášť ventilátoru, 4 – elektromotor, 5 - příruba



Obr. 11 Axiální potrubní ventilátor ^[18]

4.5. Komín ^[19]

Je to horizontální nebo vertikální dutý válec, který slouží k odvodu spalin z topeniště do ovzduší. Horké spaliny stoupají komínem vzhůru, protože mají nižší teplotu než okolní vzduch. Tlaku, který žene vzduch komínem, říkáme tah komína. Tah je závislý na výšce komína a na poměru vnitřního průměru k objemu spalin. Z tohoto důvodu jsou v průmyslových provozech stavěny vysoké komíny. Pokud není možné stavět vysoké komíny nebo jsou spaliny příliš studené na vytvoření přirozeného tahu, jsou montovány zařízení pro umělý tah. Poté mluvíme o tzv. nuceném tahu. Příkladem zařízení pro nucený tah může být ventilátor.



Obr. 12 Železobetonový monolitický komín ^[20]

Třídění komínů ^[9]

- *podle konstrukčního uspořádání se dělí na:*
 - *jednovrstvý* – komín, jehož konstrukci tvoří komínová vložka (stěna)
 - *vícevrstvý* – komín, jehož konstrukce se skládá z komínové vložky a alespoň jedné další vrstvy
- *podle způsobu tahu komína se dělí na:*
 - *s přirozeným tahem* – komín, při jehož provozu je tlak uvnitř komínové vložky nižší, než vně
 - *s umělým tahem* – komín, v jehož průduchu se během provozu spotřebiče vytváří podtlak působením ventilátoru v ústí komína
 - *přetlakový* – komín, při jehož provozu je tlak uvnitř komínové vložky vyšší, než vně
 - *vysokopřetlakový* – komín, v jehož průduchu vytváří spotřebič přetlak vyšší než 200 Pa

- *podle materiálu s dělí na:*
 - keramické
 - betonové
 - kovové
 - plastové
 - jiné
- *podle počtu připojovaných spotřebičů paliv se dělí:*
 - *samostatné komíny* – odvádí spaliny od jednoho spotřebiče z jednoho podlaží, samostatným kouřovodem a jedním komínovým průduchem
 - *společné komíny* – odvádí spaliny jedním komínovým průduchem od více spotřebičů

Požadavky na provedení: Všeobecný návrh

Chemické napadení

Chemické napadení stavebních částí, které jsou ve styku se spalinami, se může vyskytnout vlivem kondenzace různých spalin na kyseliny, například kyselinu sírovou nebo chlorovodíkovou, jež jsou znečištěné chloridy a fluoridy.

Přítomnost chloridů a fluoridů v kondenzátu ze spalin může podstatně zvýšit rychlost koroze.

K napadení účinky spalin dochází na:

- vnitřním povrchu vložek;
- vnějším povrchu komína a na výstroji k usnadnění přístupu, jako žebříky, plošiny a jejich upevňovací prvky, vystavené proudu spalin;
- všech vnějších površích, vystavených působení spalin ze sousedních komínů.

Dle určeného druhu použití musí být ochranné povlaky chemicky a tepelně odolné, nepropustné pro kapaliny a dostatečně odolné proti difuzi a stárnutí.

Přístrojové vybavení

Pokud je to požadováno, musí být komín navržen tak, aby měl zabudováno vhodné vybavení pro průběžné nebo přerušované monitorování životního prostředí. Monitorování může zahrnovat:

- tlakové podmínky;
- rychlost toku spalin;
- teplotu spalin;
- kyslík;
- kysličníky dusíku;
- kysličníky síry;
- pevné částice ve spalinách.

Navrhovaný komín bude proveden z nerezové oceli 17 021.2. Je na něm zajištěn odvod případného kondenzátu spalin. Výšku komína volím 15 m. Komín navrhnut s ohledem na normu ČSN 73 4201.

4.6. Kondenzátní jímka

V půdici komínového průduchu na plynná a kapalná paliva musí být zajištěno jímání a odvod kondenzátů spalin popř. srážkové vody. Proto se v půdici zřizuje kondenzátní jímka, která tuto funkci plní.

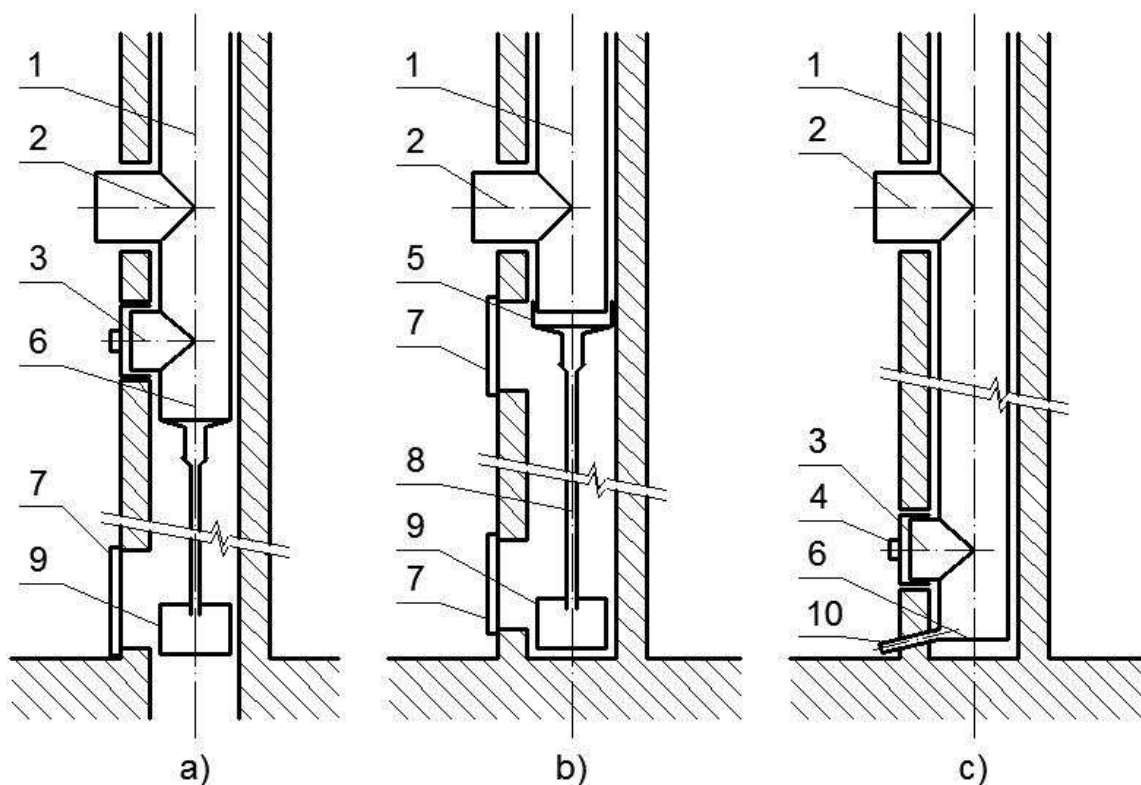
V odůvodněných případech může být odvod a jímání kondenzátů řešen jiným způsobem, např. odvodem kondenzátů spalin v kouřovodu.

Kondenzáty z kondenzátní jímky se odvádějí:

- a) *u komínů se suchým provozem* – kondenzátním potrubím do nádoby na jímání kondenzátu, která se při kontrole komínů vyprazdňuje nebo je vypouštěn přímo do kanalizace. Volné vypouštění kondenzátů do půdice komínového pláště se nepovoluje;
- b) *u komínů s mokřím provozem* – kondenzátním potrubím přímo nebo přes neutralizační zařízení do kanalizace. Odvod do kanalizace má mít sifonovou uzávěru.

Odvod kondenzátů má být co nejkratší. Kde existuje pravděpodobnost zamrzání, musí být zajištěna ochrana kondenzátního potrubí proti zamrzání.

Na následujících obrázcích jsou uvedeny příklady provedení kondenzátních jímek a odvodu kondenzátu spalin



Obr. 13 Příklady provedení kondenzátních jímek a odvodu kondenzátu spalin ^[9]

- a) kondenzátní jímka v půdici komínového pláště s odvodem kondenzátu spalin, kontrola kontrolním otvorem nad půdici;
- b) vyjímatelná kondenzátní jímka pod sopouchem přístupná za komínovými dvířky;
- c) kondenzátní jímka pod sopouchem přístupná kontrolním otvorem;

1 – komínová vložka, 2 – sopouchová tvarovka, 3 – kontrolní otvor, 4 – víčko kontrolního otvoru, 5 – vyjímatelná kondenzátní jímka, 6 – půdice kondenzátní jímky, 7 – komínová dvířka, 8 – hadička pro odvod kondenzátu, 9 – nádobka na jímání kondenzátu, 10 – odvod kondenzátu spalin

4.7. Neutralizační zařízení

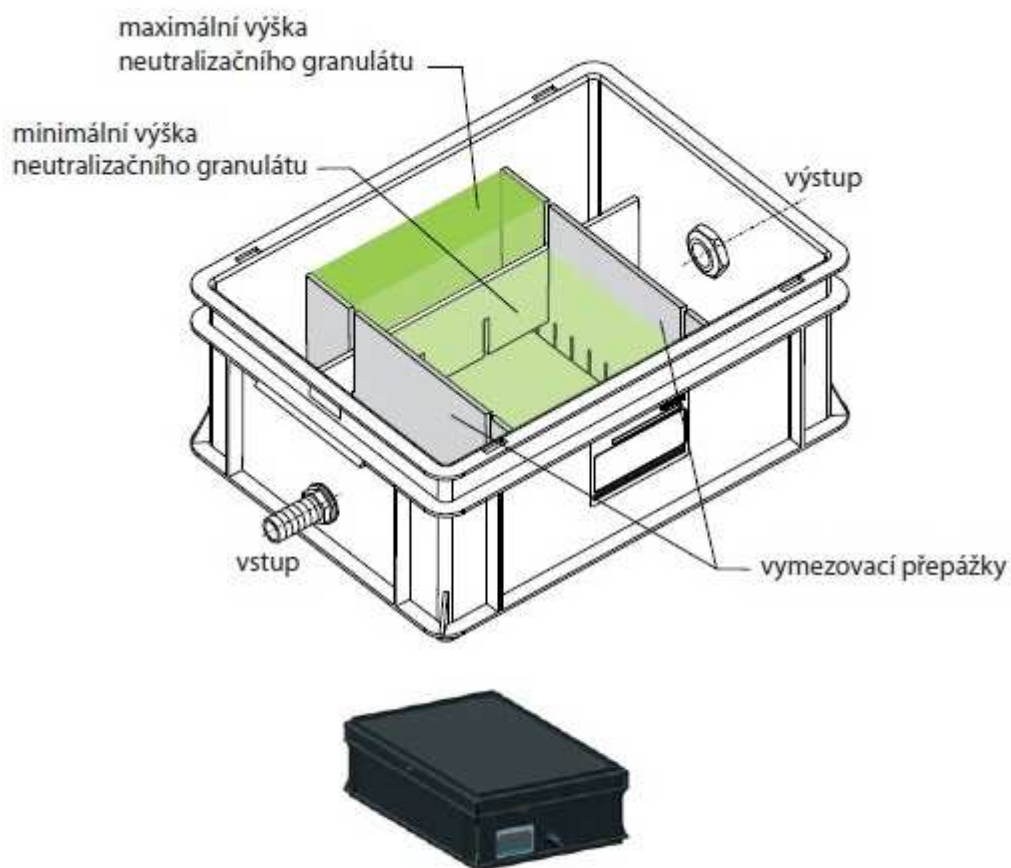
Jak kondenzát vzniklý z kondenzačního výměníku, případně komína, bude odváděn přes neutralizačního zařízení do kanalizace. Volné vypouštění kondenzátů do půdice komínového pláště se nepovoluje.

^[11] Neutralizace kondenzátu může být řešena pomocí:

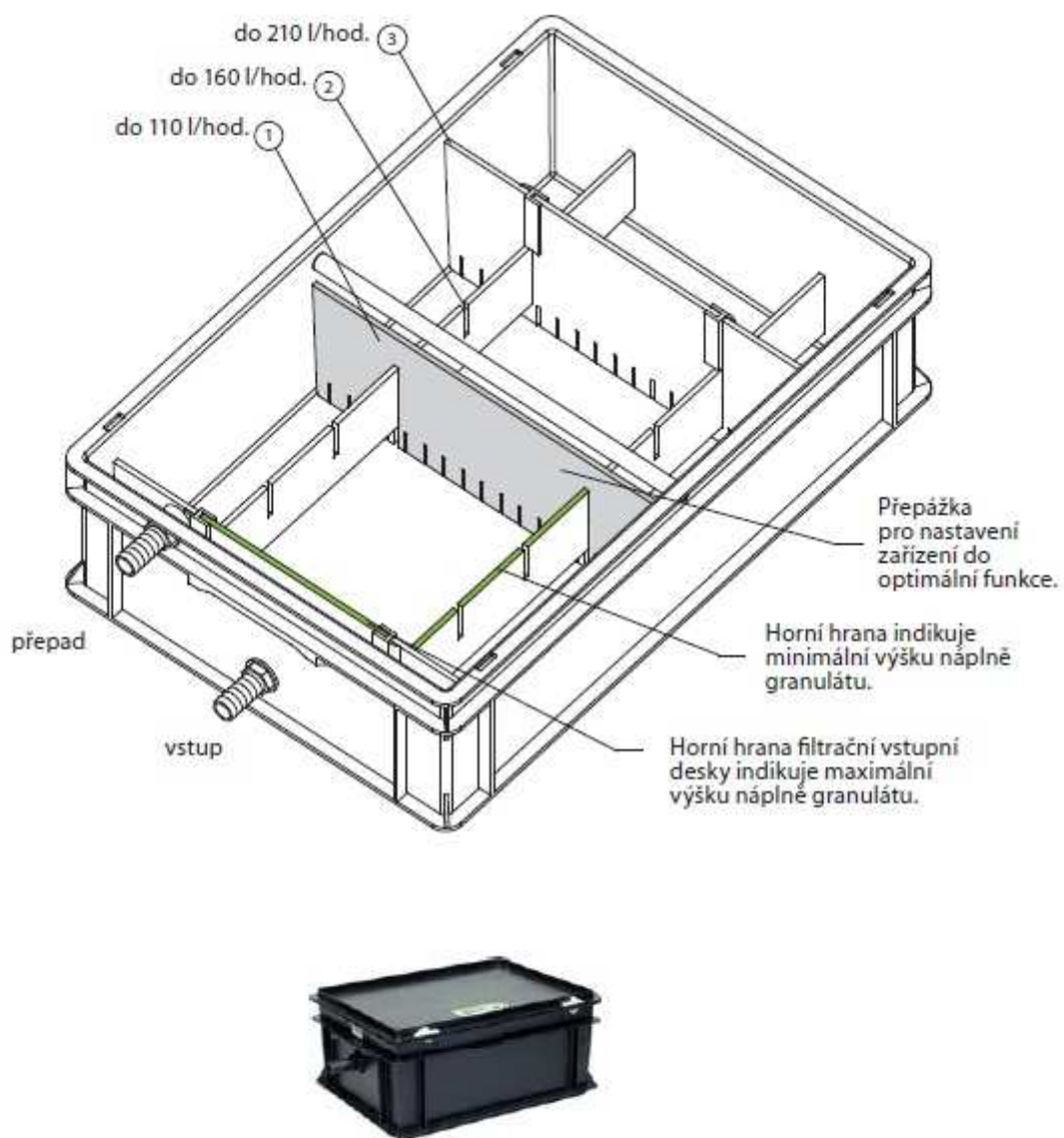
- pevných hydroxidů v neutralizační jímce (nejčastější řešení, malé provozní a pořizovací náklady)
- kapalných hydroxidů elektronicky dávkovaných ke kondenzátu (méně časté řešení, vhodné pro větší výkony)
- iontového výměníku (vhodné pro malé a střední výkony).

Příklady neutralizačních boxů ^[21]

Na obr. 14 je znázorněn neutralizační box NEUTRA N 70, použití pro výkony do 500 kW. Na obr. 15 je znázorněn neutralizační box NEUTRA N 210, použití pro výkony do 1,5 kW.

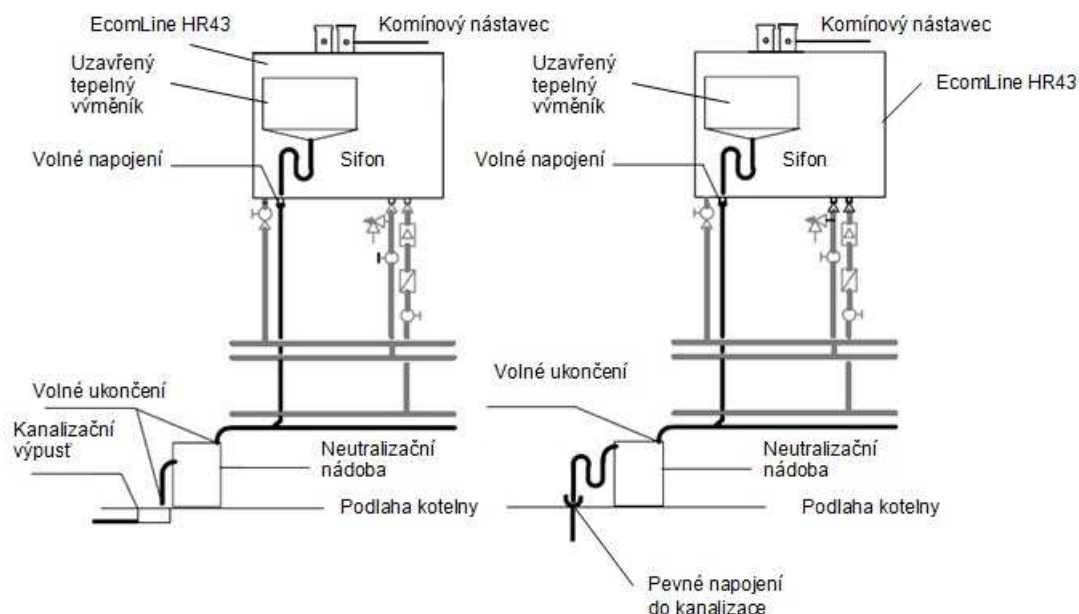


Obr. 14 Provedení neutralizačního boxu NEUTRA N 70 ^[21]



Obr. 15 Provedení neutralizačního boxu NEUTRA N 210 ^[21]

Příklady zapojení



Obr. 16 Příklady zapojení u plynových kondenzačních kotlů ^[22]

5. Měření a archivace průběhu veličin ^[14]

Pro potřeby zadání je nutné měřit teplotu a relativní vlhkost spalin. K tomu je možno využít měřicí sondu HX86N, je to sonda v nerezovém provedení se sitrovaným nerezovým filtrem. Měřicí rozsah relativní vlhkosti je 5 až 95 % s přesností ± 1 % při pracovní teplotě -20 až 115 °C, přednastavené výstupy: relativní vlhkost, teplota a rosný bod. Sonda bude umístěna na výstupu z výměníku.



Obr. 17 Sonda HX86N ^[14]

K archivaci naměřených hodnot je možno využít zapisovač série RD820. Nabízí zpracování dat v reálném čase, ale také archivaci na paměťovou kartu. Průběh veličin je přehledně zobrazen na LCD displeji. Navíc je možno zobrazovat i průměrné hodnoty, trendy a nastavovat a využívat alarmových funkcí



Obr. 18 Bezpapírový zapisovač RD820 ^[15]

6. Výpočtová část

Zadáno				Dopočteno	
Složky	Objemová %	Hustota [kg·m ⁻³]	Výhřevnost [MJ·m ⁻³]	Hmotnostní %	Molární hmotnost
CO		1,25	12,64		28
H ₂		0,09	10,76		2
CH ₄	98,10	0,72	35,80	96,18	16
C ₂ H ₆	0,70	1,36	64,35	1,29	30
C ₃ H ₈	0,20	2,02	93,57	0,54	44
C ₄ H ₁₀	0,10	2,59	123,55	0,35	58
C ₂ H ₄		1,26	59,52		28
C ₂ H ₂		1,17	56,94		26
N ₂	0,80	1,25		1,37	28
CO ₂	0,10	1,98		0,27	44
O ₂		1,43			32
H ₂ O		0,80			18
Celkem	100,00	0,73	35,88	100,00	16,32
Wobeho č.	47,70				

Tab. 2 Složení zemního plynu (teoretické) – doplnění o potřebné hodnoty

Zadanou tabulku bylo nutné doplnit o přepočet objemových procent na hmotnostní procenta a také o relativní molekulové hmotnosti jednotlivých složek pro dané složení plynu. Tyto hodnoty budou nutné pro pozdější výpočet.

Výpočet hmotnostních procent složek ZP z objemových procent složek ZP [2]

ZP – zemní plyn

$$\frac{V_i}{V} \rightarrow \text{objemová \%}$$

$$\frac{m_i}{m} \rightarrow \text{hmotnostní \%}$$
(1.1)

$$\frac{m_i}{m} = \frac{V_i}{V} \cdot \frac{M_i}{M_{ZP}}$$

$$M_{ZP} = \sum \frac{V_i}{V} \cdot M_i = 0,981 \cdot 16 + 0,007 \cdot 30 + 0,002 \cdot 44 + 0,001 \cdot 58 + 0,008 \cdot 28 + 0,001 \cdot 44$$

$$M_{ZP} = \underline{\underline{16,32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}$$

Příklad výpočtu pro CH₄

$$\frac{m_{CH_4}}{m} = \frac{V_{CH_4}}{V} \cdot \frac{M_{CH_4}}{M} \quad (1.2)$$

$$\frac{m_{CH_4}}{m} = 98,1 \cdot \frac{16}{16,32} = \underline{\underline{96,18 \%}}$$

V dalším kroku je nutné provést analýzu spalování zemního plynu. Určit stechiometrické rovnice, teoretickou potřebu kyslíku a složení spalin vzniklé spalováním. Z jednotlivých složek spalin ZP je pro další navrhování zařízení důležitá hlavně voda. K výpočtu množství vody vzniklé po spálení lze dojít několika způsoby. V mé práci jsem provedl dva z nich, tak abych si ověřil alespoň přibližnou relevantnost vypočtené hodnoty. Vycházet budu z následující tzv. spalovací tabulky

Složky	Množství $\left[\frac{m_N^3}{m_{N\ pl}^3}\right]$	Stechiometrické reakce	Potřeba $\left[\frac{m_N^3}{m_{N\ pl}^3}\right]$	Spaliny $\left[\frac{m_N^3}{m_{N\ pl}^3}\right]$			
			O ₂	H ₂ O	CO ₂	N ₂	Σ
CH ₄	0,981	CH ₄ +2O ₂ →CO ₂ +2H ₂ O	1,962	1,962	0,981		2,943
C ₂ H ₆	0,007	2C ₂ H ₆ + 7O ₂ →4CO ₂ +6H ₂ O	0,049	0,021	0,014		0,035
C ₃ H ₈	0,002	C ₃ H ₈ + 5O ₂ →3CO ₂ +4H ₂ O	0,01	0,008	0,006		0,014
C ₄ H ₁₀	0,001	2C ₄ H ₁₀ + 13O ₂ →8CO ₂ +10H ₂ O	0,013	0,005	0,004		0,009
N ₂	0,008					0,008	0,008
CO ₂	0,001				0,001		0,001
Teoretická potřeba kyslíku $V_{O_2\ T}$			2,034				
Složení spalin vzniklé spalováním teoretického množství O ₂				1,996	1,006	0,008	3,01
Složení spalin vzniklé spalováním teoretického množství O ₂ v %				66,31	33,42	0,27	100

Tab. 3 Spalovací tabulka zemního plynu ^[2]

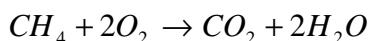
Výpočet teoretické hmotnosti vodní páry obsažené ve spalinách po spálení 1 m³ zemního plynu pomocí čistého O₂ ^[2]

Určení teoretické hmotnosti vodní páry obsažené ve spalinách jsem provedl pomocí metody obecných spalovacích rovnic. Přičemž množství produktů může být určeno v podstatě dvojím způsobem:

- jako hmotnost produktů – využitím zákona o zachování hmoty a atomových hmot prvků;
- jako molová množství – využitím Avogardova zákona.

Výpočet jsem provedl pomocí zákona o zachování hmoty a atomových hmot prvků.

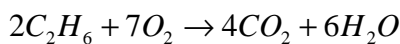
Pro 0 °C



$$16 \text{ kg} + 64 \text{ kg} \rightarrow 44 \text{ kg} + 36 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} + 4 \text{ kg} \rightarrow 2,75 \text{ kg} + 2,25 \text{ kg}$$

$$0,9618 \text{ kg} + 3,8472 \text{ kg} \rightarrow 2,64495 \text{ kg} + \underline{2,16405 \text{ kg}}$$

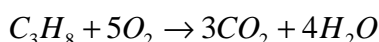


$$60 \text{ kg} + 224 \text{ kg} \rightarrow 176 \text{ kg} + 108 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} + 3,7\bar{3} \text{ kg} \rightarrow 2,9\bar{3} \text{ kg} + 1,8 \text{ kg}$$

$$0,0129 \text{ kg} + 0,04816 \text{ kg} \rightarrow 0,03784 \text{ kg} + \underline{0,02322 \text{ kg}}$$

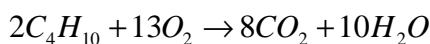
(2.1)



$$44 \text{ kg} + 160 \text{ kg} \rightarrow 132 \text{ kg} + 72 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} + 3,6\bar{3} \text{ kg} \rightarrow 3 \text{ kg} + 1,6\bar{3} \text{ kg}$$

$$0,0054 \text{ kg} + 0,019636363 \text{ kg} \rightarrow 0,0162 \text{ kg} + \underline{0,008836363 \text{ kg}}$$



$$116 \text{ kg} + 416 \text{ kg} \rightarrow 352 \text{ kg} + 180 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} + 3,586206897 \text{ kg} \rightarrow 3,034482759 \text{ kg} + 1,551724138 \text{ kg}$$

$$0,0035 \text{ kg} + 0,012551724 \text{ kg} \rightarrow 0,010620689 \text{ kg} + \underline{0,005431034 \text{ kg}}$$

Provedeme součet hmotností vody vzniklé při jednotlivých reakcích

$$\sum H_2O = 2,16405 + 0,02322 + 0,008836363 + 0,005431034$$

$$\sum H_2O = \underline{2,201537397 \text{ kg}} \quad \text{z} \quad 1 \text{ kg} \quad \text{ZP}$$

(2.2)

Jestliže víme, že z jednoho kg ZP nám spálením vznikne 2,201537397 kg H₂O a že hustota ZP je 0,73 kg·m⁻³, můžeme snadno vypočíst, kolik H₂O vznikne spálením 1 m³ ZP.

$$m_{H_2O \text{ } 0^\circ C} = \rho_{ZP} \cdot \sum H_2O = 0,73 \cdot 2,201537397$$

$$m_{H_2O \text{ } 0^\circ C} = \underline{1,6071223 \text{ kg}} \quad H_2O \quad \text{z} \quad 1 \text{ m}^3 \quad \text{ZP}$$

(2.3)

Přepočet pro předpokládaných 80 °C na vstupu do výměníku^[7]

$$\rho_{H_2O \text{ } 0^\circ C} = 0,8040 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{H_2O \text{ } 80^\circ C} = 0,6219 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

(2.4)

$$m_{H_2O \text{ } 80^\circ C} = \frac{m_{H_2O \text{ } 0^\circ C}}{\rho_{H_2O \text{ } 0^\circ C}} \cdot \rho_{H_2O \text{ } 80^\circ C} = \frac{1,6071223}{0,8040} \cdot 0,6219$$

$$m_{H_2O \text{ } 80^\circ C} = \underline{1,243 \text{ kg}} \quad H_2O \quad \text{z} \quad 1 \text{ m}^3 \quad \text{ZP}$$

Teoretické množství vzduchu při spalování [5]

Oxidačním prostředkem není při této technologii čistý kyslík, ale spalování probíhá pomocí vzduchu a proto je nutné abychom znali jeho potřebné množství.

$$V_{vT} = V_{O_2 T} \cdot \frac{1}{0,2099} = 2,034 \cdot \frac{1}{0,2099} = \underline{\underline{9,690 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}} \quad (3.1)$$

Složení vlhkých spalin [5]

Pro výpočet složení vlhkých spalin je potřeba znát složení spalovacího vzduchu

Kyslík	O ₂	20,99	%
Dusík	N ₂	78,03	%
Argon	Ar	0,94	%
Oxid uhličitý	CO ₂	0,03	%
Vodík	H ₂	0,01	%
Neon	Ne	0,0018	%
Helium	He	0,0005	%
Krypton	Kr	0,0001	%
Xenon	Xe	0,000009	%

Tab. 4 Objemové složení suchého vzduchu [5]

Objemový podíl dusíku

$$V_{N_2 v} = 0,7803 \cdot (n-1) \cdot V_{vT} = 0,7803 \cdot (1,1-1) \cdot 9,690 = \underline{\underline{0,7561 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}} \quad (4.1)$$

Objemový podíl kyslíku

$$V_{O_2 v} = 0,2099 \cdot (n-1) \cdot V_{vT} = 0,2099 \cdot (1,1-1) \cdot 9,690 = \underline{\underline{0,2034 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}} \quad (4.2)$$

Objemový podíl argonu

$$V_{Ar} = 0,0094 \cdot n \cdot V_{vT} = 0,0094 \cdot 1,1 \cdot 9,690 = \underline{\underline{0,1002 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}} \quad (4.3)$$

Stechiometrický objem oxidu uhličitého

$$\begin{aligned} V_{CO_2} &= \frac{0,998 \cdot r_{iCH_4} + 2,011 \cdot r_{iC_2H_6} + 3,053 \cdot r_{iC_3H_8} + 4,159 \cdot r_{iC_4H_{10}} + 5,339 \cdot r_{iC_5H_{12}} + r_{CO_2}}{100} + 0,0003 \cdot V_{vT} \\ V_{CO_2} &= \frac{0,998 \cdot 98,1 + 2,011 \cdot 0,7 + 3,053 \cdot 0,2 + 4,159 \cdot 0,1 + 5,339 \cdot 0 + 0,1}{100} + 0,0003 \cdot 9,690 \\ V_{CO_2} &= \underline{\underline{1,0073 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Stechiometrický objem dusíku

(4.5)

$$V_{N_2} = \frac{7,554 \cdot r_{iCH_4} + 13,322 \cdot r_{iC_2H_6} + 19,259 \cdot r_{iC_3H_8} + 25,580 \cdot r_{iC_4H_{10}} + 32,340 \cdot r_{iC_5H_{12}} + r_{N_2}}{100}$$

$$V_{N_2} = \frac{7,554 \cdot 98,1 + 13,322 \cdot 0,7 + 19,259 \cdot 0,2 + 25,580 \cdot 0,1 + 32,340 \cdot 0 + 0,1}{100}$$

$$V_{N_2} = \underline{\underline{7,5688 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}}$$

Stechiometrický objem vodní páry

$$V_{H_2O} = \frac{1,914 \cdot r_{iCH_4} + 2,894 \cdot r_{iC_2H_6} + 3,862 \cdot r_{iC_3H_8} + 4,978 \cdot r_{iC_4H_{10}} + 6,147 \cdot r_{iC_5H_{12}}}{100}$$

$$V_{H_2O} = \frac{1,914 \cdot 98,1 + 2,894 \cdot 0,7 + 3,862 \cdot 0,2 + 4,978 \cdot 0,1 + 6,147 \cdot 0}{100} \quad (4.6)$$

$$V_{H_2O} = \underline{\underline{1,9106 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}}$$

Objem vlhkých spalín zemních plynů pro $n > 1$

$$V_s^v = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{N_2v} + V_{H_2O} + V_{O_2v} + V_{Ar}$$

$$V_s^v = 1,0073 + 7,5688 + 0,7561 + 1,9106 + 0,2034 + 0,1002 \quad (4.7)$$

$$V_s^v = \underline{\underline{11,5464 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}}$$

Procentuální složení jednotlivých prvků

$$N_2 = \frac{V_{N_2} + V_{N_2v}}{V_s^v} \cdot 100 = \frac{7,5688 + 0,7561}{11,5464} \cdot 100 = \underline{\underline{72,1 \, \%}}$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_s^v} \cdot 100 = \frac{1,9106}{11,5464} \cdot 100 = \underline{\underline{16,55 \, \%}}$$

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_s^v} \cdot 100 = \frac{1,0073}{11,5464} \cdot 100 = \underline{\underline{8,72 \, \%}} \quad (4.8)$$

$$O_2 = \frac{V_{O_2v}}{V_s^v} \cdot 100 = \frac{0,2034}{11,5464} \cdot 100 = \underline{\underline{1,76 \, \%}}$$

$$Ar = \frac{V_A}{V_s^v} \cdot 100 = \frac{0,1002}{11,5464} \cdot 100 = \underline{\underline{0,87 \, \%}}$$

	N_2	H_2O	CO_2	O_2	A	Σ
$V_i [m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}]$	8,3249	1,9106	1,0073	0,2034	0,1002	11,5464
$\sigma_i [\%]$	72,1	16,55	8,72	1,76	0,87	100

Tab. 5 Složení vlhkých spalín pro $n = 1,1$

Hmotnost vody spálením 1 m³ zemního plynu

$$m_{H_2O} = V_{H_2O} \cdot \rho_{80^\circ C} = 1,9106 \cdot 0,6219 = \underline{\underline{1,188 \, kg}} \quad H_2O \quad (4.9)$$

Porovnáme-li vypočtené hodnoty množství vody vzniklé spálením 1 kg zemního plynu z obou výpočtů, je možné je brát prakticky za stejné. Pro další výpočty budu raději brát vyšší hodnotu, tak abych při dimenzování odtokových cest navrhl dostatečný průměr odtokového kanálu.

Složení suchých spalín

	N_2	CO_2	O_2	A	Σ
$V_i [m_N^3 \cdot m_{N_{pl.}}^{-3}]$	8,3249	1,0073	0,2034	0,1002	9,6358
$\sigma_i [\%]$	86,40	10,45	2,11	1,04	100

Tab. 6 Složení suchých spalín

Rosný bod spalín - zemní plyn^[5]

- volím $t_v = 30 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow p'_w = 4241 \text{ Pa}$
- volím $\varphi_v = 75 \%$
- volím $p_b = 101050 \text{ Pa}$

$$p'_w = \frac{\sum V_{H_2O}}{V_s^v} \cdot (p_b \pm \Delta p) = \frac{2,2452}{11,5464} \cdot (101050 - 200) = \underline{\underline{19610 \text{ Pa}}}$$

$$\sum V_{H_2O} = V_{H_2O} + V_{H_2O}^v = 1,9106 + 0,3346 = \underline{\underline{2,2452 \text{ m}_N^3 \cdot \text{m}_N^{-3}}} \quad (5.1)$$

$$V_{H_2O}^v = \frac{\varphi_v}{100} \cdot \frac{p'_{wv}}{101325} \cdot n \cdot V_{vT} = \frac{75}{100} \cdot \frac{4241}{101325} \cdot 1,1 \cdot 9,690 = \underline{\underline{0,3346 \text{ m}_N^3 \cdot \text{m}_N^{-3}}}$$

$p'_w = 19610 \text{ Pa}$, což přibližně odpovídá teplotě $t_{rsp} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$

- $t_v = -20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow p'_w = 102,9 \text{ Pa}$
- $\varphi_v = 30 \%$

$$p'_w = \frac{\sum V_{H_2O}}{V_s^v} \cdot (p_b \pm \Delta p) = \frac{1,9138}{11,5464} \cdot (101050 - 200) = \underline{\underline{16715 \text{ Pa}}}$$

$$\sum V_{H_2O} = V_{H_2O} + V_{H_2O}^v = 1,9106 + 3,2474 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{1,9138 \text{ m}_N^3 \cdot \text{m}_N^{-3}}} \quad (5.1.1)$$

$$V_{H_2O}^v = \frac{\varphi_v}{100} \cdot \frac{p'_{wv}}{101325} \cdot n \cdot V_{vT} = \frac{30}{100} \cdot \frac{102,9}{101325} \cdot 1,1 \cdot 9,690 = \underline{\underline{3,2474 \cdot 10^{-3} \text{ m}_N^3 \cdot \text{m}_N^{-3}}}$$

$p'_w = 16715 \text{ Pa}$, což přibližně odpovídá teplotě $t_{rsp} = 56 \text{ }^\circ\text{C}$

Určení potřeby plynu

Výhřevnost je $35\,870 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \rightarrow 35,87 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ na $1 \text{ m}^3 \text{ ZP}$

Pec má $4 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} \rightarrow 0,1115 \text{ m}^3 \text{ ZP}$

Určení rozměrů přírub

$$\frac{V_s^V}{T_1} = \frac{V_1}{T_v} \Rightarrow V_1$$
$$V_1 = \frac{V_s^V \cdot T_v}{T_1} = \frac{11,5464 \cdot 353,15}{273,15} = \underline{\underline{14,9281 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}} \quad (6.1)$$

$$1 \, m^3 \Rightarrow 14,9281 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}$$

$$0,1115 \, m^3 \Rightarrow \underline{1,6644 \, m_N^3 \cdot m_{Npl}^{-3}}$$

Rychlost spalín na vstupu volím $v = 4 \, m \cdot s^{-1}$

$$Q_s^V = v \cdot S_1 = v \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \Rightarrow D_1$$
$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{v_1 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,6644}{4 \cdot \pi}} = \underline{\underline{0,7278 \, m}} \quad (6.2)$$

Volím průměr **0,730 m**

$D_2 = 0,600 \, m \rightarrow$ **zadáno výrobcem**

Určení otvoru pro odvod kondenzátu ^[23]

Volím výšku hladiny $h = 0,01 \, m$

Pro výkon $4 \, MW$ je potřeba $0,1115 \, m^3 \, ZP$

$$1 \, m^3 \, ZP \Rightarrow 1,25 \, kg \, H_2O$$

$$0,1115 \, m^3 \, ZP \Rightarrow 0,14 \, kg \, H_2O$$

$$Q_K = \underline{0,00014 \, m^3 \cdot s^{-1}}$$
$$Q_K = S \cdot v$$
$$Q_K = \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \Rightarrow r$$
$$r = \sqrt{\frac{Q_K}{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}} = \sqrt{\frac{0,00014}{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,01}}} = \underline{\underline{0,01 \, m}} \quad (7.1)$$

Vypočet výkonu ventilátoru ^[24]

$$P_v = \frac{V_{sp-s} \cdot \Delta p}{\eta_v} = \frac{9,6358 \cdot 2000}{0,95} = 20285,894 \, W \quad (7.2)$$

Volím elektromotor SIEMENS 1LA9 164-2LA6x

Výkon: 21 kW

Otáčky: 2910 min⁻¹

Δp zvoleno určeno z [6]

Výpočet dilatace potrubí

Teplotní dilatace vychází ze vzorce:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t = 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 6,515 \cdot 100 \doteq \underline{\underline{7,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}} \quad (8.1)$$

Δt jsem zvolil pro nejnepříznivější podmínky: okolí teplota $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ uvnitř výměníku teplota spalin $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

α zvoleno pro chromovou ocel z [8]

7. Závěr

Bakalářská práce se zabývá inovací spalínového traktu komorové vozové pece, tak aby bylo dosaženo většího využití odpadního tepla vznikajících spalín. Energie spalín bude v kondenzačním výměníku využívána pro předehřev teplé užitkové vody. Spaliny budou vychlazovány až pod teplotu, kdy dochází ke kondenzaci vody nich obsažené, takže bylo nutné stanovit jejich rosný bod. Ten se pohybuje přibližně okolo teploty 60 °C.

Dále bylo nutné stanovit množství kondenzátu, který bude vznikat při plném výkonu pece, aby bylo možné dimenzovat otvor pro jeho vypouštění. Se vzniklým kondenzátem vzniká i problém jeho likvidace, protože má mírně kyselý charakter a jeho volné vypouštění se nepovoluje. K jeho neutralizaci bude využito neutralizační zařízení a poté bude kondenzát vypouštěn do kanalizace.

Vychlazením spalín znemožníme přirozený tah komína, proto bude do systému namontováno zařízení na vytvoření tzv. nuceného tahu, tímto zařízením bude rovnotlaký axiální ventilátor s možností frekvenčního řízení, s ohledem na výkon pece. Ventilátor umožní snížení výšky komína. Zděný komín bude nahrazen ocelovým. Stavební části, kterými procházejí spaliny musejí být odolné vůči působení kyselin a koroze. Ochranou před těmito napadeními je použití nerezové oceli a pogumování ploch ventilátoru, které budou ve styku se spalínami.

Seznam použité literatury

- [1] OCHRANA, L. *Kotle a výměníky tepla*. Vydání první. VUT Brno, 2004. 85s ISBN 80-214-2847-3
- [2] VITÁSEK, F. *Ohřev materiálu*. Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava 1974. 210s.
- [3] HUBKA, V. *Konstrukční nauka*. Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8
- [4] NOVÝ, R. *Ventilátory*. Vydání třetí. ČVUT Praha, 2007. 104s. ISBN 978-80-01-03758-4
- [5] FÍK, J. *Zemní plyn*. 1. vydání. Praha : ČSTZ, 2006. 355 s. ISBN 80-86028-22-4.
- [6] TĚBENKOV, B. P. *Rekuperátory průmyslových pecí*. Vydání první. Praha : SNTL, 1957. 312 s.
- [7] HAŠEK, P. *Tabulky pro tepelnou techniku*. Ostrava : VŠB Ostrava, 1980. 247 s.
- [8] LEINVEBER, J. ; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. První vydání. Úvaly : Albra, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [9] ČSN 73 4201 – Komíny a kouřovody. Listopad 2002
- [10] ČSN EN 13084-1 – Volně stojící komíny. Září 2007
- [11] Březen 2010 [cit. 24. března 2010]. Dostupné z [www:](http://www.energ.cz/index.php/component/content/article/20-energ-/50-kondenzani-kotle)
<http://www.energ.cz/index.php/component/content/article/20-energ-/50-kondenzani-kotle>
- [12] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.svethardware.cz/art_doc-65D63DE45D7F238AC125726C0070D361.html)
http://www.svethardware.cz/art_doc-65D63DE45D7F238AC125726C0070D361.html
- [13] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.ocmodshop.com/news/articlefiles/3038-Heat_Pipe_Mechanism.jpg)
http://www.ocmodshop.com/news/articlefiles/3038-Heat_Pipe_Mechanism.jpg
- [14] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=HX85&Nav=temhu04)
<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=HX85&Nav=temhu04>
- [15] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=RD820&Nav=tems02)
<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=RD820&Nav=tems02>
- [16] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.zvvz.cz/zvvz-as/divize-ventilatory-megtec/produkty/pro-dmychani-vzduchu/axialni-rovnotlake-ark-a-arm.html)
<http://www.zvvz.cz/zvvz-as/divize-ventilatory-megtec/produkty/pro-dmychani-vzduchu/axialni-rovnotlake-ark-a-arm.html>
- [17] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3733)
<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3733>
- [18] Květen 2010 [cit. 26. května 2010]. Dostupné z [www:](http://www.ventilatory-shop.cz/ventilatory-prumyslove-potrubni-472.html)
<http://www.ventilatory-shop.cz/ventilatory-prumyslove-potrubni-472.html>
- [19] Únor 2010 [cit. 6. února 2010]. Dostupné z [www:](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kom%C3%ADn)
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kom%C3%ADn>

- [20] Únor 2010 [cit. 6. února 2010]. Dostupné z www:
<http://www.tto.cz/kominy.html>
- [21] Únor 2010 [cit. 6. února 2010]. Dostupné z www:
<http://www.brilon.cz>
- [22] Únor 2010 [cit. 6. února 2010]. Dostupné z www:
<http://www.deto.cz/katalog/08%20Neutralizacni%20box.pdf>
- [23] Elektronická skripta: Drábková, S., Kozubková, M.: Cvičení z mechaniky tekutin, VŠB – TU Ostrava, 2002. Dostupné z www:
<http://www.338.vsb.cz/studium9.htm>
- [24] Vágnerová, J. *Odtahový systém krokové pece se zařízením pro využití jejího tepelného odpadu*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – TUO Fakulta strojní, 2006. 47s.
- [25] Rozměry výměníku poskytnuty firmou ForSTEEL, s. r. o.
- [26] Květen 2010 [cit. 25. května]. Dostupné z www:
<http://www.elektromotory-siemens.cz/obchod/elektromotory-siemens-rady-1la9.html>

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma stávajícího stavu zařízení

Obr. 2 Schéma navrhovaného zařízení

Obr. 3 3D model navrhovaného zařízení

Obr. 4 Předpokládaný prostor pro umístění výměníků

Obr. 5 Schéma funkční struktury technického systému

Obr. 6 Schéma orgánové struktury technického systému

Obr. 7 Heat pipe – tepelný cyklus

Obr. 8 Řez skrze heat pipe

Obr. 9 Hrubé rozměry výměníku

Obr. 10 Schéma axiálního ventilátoru

Obr. 11 Axiální potrubní ventilátor

Obr. 12 Železobetonový monolitický komín

Obr. 13 Příklady provedení kondenzátních jímek a odvodu kondenzátu spalin

Obr. 14 Provedení neutralizačního boxu NEUTRA N 70

Obr. 15 Provedení neutralizačního boxu NEUTRA N 210

Obr. 16 Příklady zapojení u plynových kondenzačních kotlů

Obr. 17 Sonda HX86N

Obr. 18 Bezpapírový zapisovač RD820

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Výkres sestavení – Kondenzační úsek SB3 KSV 01-00

Příloha č. 2 – Výrobní výkres – Příruha SB3 KSV 01-01

Příloha č. 3 – Datový nosič CD s textem práce